

Die Sauerstoffbilanz der Schweiz

Autor(en): **Keller, T.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal
= Journal forestier suisse**

Band (Jahr): **124 (1973)**

Heft 7

PDF erstellt am: **08.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-767442>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Die Sauerstoffbilanz der Schweiz

Versuch einer Schätzung

Von *Th. Keller*

Oxf.: 161.2 + 161.3

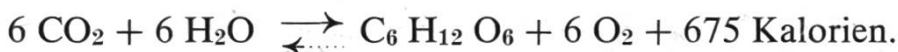
(Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Birmensdorf)

In Tageszeitungen, Illustrierten und telephonischen Anfragen stösst man immer wieder auf Fragen der Sauerstoffproduktion und des Sauerstoffverbrauchs. In der Regel wird jedoch jeweils nur ein Teilaspekt herausgegriffen, ohne dass eine grössenordnungsmässige Beziehung zum Gesamthaushalt gesucht wird. Im folgenden wird versucht, eine derartige Übersicht zu geben, wobei es sich natürlich nur um eine grobe Schätzung handeln kann. Allen Amtsstellen und ETH-Instituten, welche durch ihre Auskünfte diese Zusammenstellung ermöglichten, sei hiermit der gebührende Dank ausgesprochen.

1. Schätzungsgrundlagen

1.1 Sauerstoffproduktion

Es ist allgemein bekannt, dass grüne Pflanzen die Fähigkeit haben, mit Hilfe des Blattgrüns (Chlorophyll) einen Teil der Sonnenenergie auszunützen, indem sie aus Kohlendioxid der Luft (CO₂, «Kohlensäure») Zucker und andere Kohlehydrate aufbauen (Photosynthese), wobei Kalorien (Sonnenenergie) gespeichert werden. Bei der Photosynthese wird Sauerstoff freigesetzt. Zur Erhaltung ihres Stoffwechsels und Wachstums benötigt die Pflanze ebenfalls Energie, die sie durch Veratmung photosynthetisch erzeugter Produkte gewinnt. Die Wechselwirkung dieser Prozesse wird oftmals mit der «Assimilationsformel» vereinfacht in folgender Form dargestellt:



Auf Grund der Molekulargewichte lässt sich berechnen, dass aus je 6 Molekülen CO₂ (264 g) und Wasser (108 g) 1 Molekül Zucker (180 g) gebildet wird (675 Kalorien enthaltend), wobei 6 Moleküle Sauerstoff (192 g) freigesetzt werden.

Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass für den Abbau der organischen Substanz (pflanzliche Atmung, Bakterien, Pilze usw.) die bei der Bildung freigewordene Sauerstoffmenge wieder benötigt wird. Dies wird in der Assimilationsformel durch den Pfeil nach links angedeutet. Das gleiche gilt auch für die pflanzlichen Produkte, die durch Mensch und Tier verzehrt werden.

Wenn im folgenden von der Trockensubstanz auf die Sauerstoffproduktion geschlossen wird, so wird nicht berücksichtigt, dass bereits zur Erzeugung der Trockensubstanz ein namhafter Betrag photosynthetisch erzeugter Substanz veratmet wurde. Der Sauerstoffkreislauf umfasst somit eine wesentlich grössere Menge; sie wird aber nicht in diese Betrachtung einbezogen, da dieser Sauerstoff von den Pflanzen wohl freigesetzt, aber auch gleich wieder verbraucht wird.

In neuester Zeit hat die Weltraumfahrt entdeckt, dass an der oberen Grenzschicht der Lufthülle Wasserdampf in Sauerstoff und Wasserstoff zerlegt wird. Gegenwärtig ist jedoch noch unbekannt, welchen Beitrag dieser Vorgang zum Sauerstoffgehalt der Atmosphäre leistet, so dass er bei der Schätzung der Sauerstoffproduktion nicht berücksichtigt werden kann.

1.1.1 Forstwirtschaft

Auf Grund neuester Schätzungen (*Ott*, 1972) produziert der Schweizer Wald im Durchschnitt seiner Fläche jährlich rund 5 m³ Derbholz/ha. Man beachte, dass dies einen Durchschnittswert darstellt, der auf fruchtbaren Standorten des Mittellandes um ein Mehrfaches übertroffen wird. Diese 5 m³ entsprechen rund einem Trockengewicht von 2,5 t/ha.

Nach den Ertragstafeln von *Flury* (1907) darf geschätzt werden, dass zu diesem Derbholz 20 Prozent Reisig dazukommen, und nach *Köstler* et al. (1968) sind weitere 20 Prozent für Wurzeln dazuzurechnen. Auf Grund der Untersuchungen *Burgers* (1950, 1953) ist anzunehmen, dass die Assimilationsorgane gewichtsmässig mindestens dem Holzgewicht entsprechen.

Dies ergibt total (wasserfreies Trockengewicht):

Derbholz	(100 %)	2,5 t/ha
Reisig	(20 %)	0,5 t/ha
Wurzeln	(20 %)	0,5 t/ha
Blätter, Nadeln	(100 %)	2,5 t/ha
Total		6 t/ha

Aus der Assimilationsformel und den darin enthaltenen Molekulargewichten geht hervor, dass bei der organischen Produktion gewichtsmässig ungefähr gleichviel Sauerstoff freigesetzt wird, wie wasserfreie Trockensubstanz produziert wird (192 g Sauerstoff pro 180 g Zucker). Darf nun aber die Trockensubstanz einfach dem Zucker der Assimilationsformel gleichgesetzt werden? Diese Frage kann für unsere Zwecke mit Ja beantwortet werden, denn aus einem Kalorienvergleich geht hervor:

1 Ster Buchenholz (500 kg):	1,8 Millionen Kalorien
500 kg Zucker:	1,88 Millionen Kalorien

Der gesamte Schweizer Wald produziert somit jährlich neben 6 Millionen t organischer Substanz noch rund 6 Millionen t Sauerstoff.

1.1.2 Landwirtschaft

Analog den Schätzungen für die Forstwirtschaft lässt sich auch die Sauerstoffproduktion der landwirtschaftlich genutzten Fläche schätzen. Nach dem Statistischen Jahrbuch der Schweiz werden von dieser Fläche rund

250 000 ha als Ackerland

850 000 ha als Grünland

bewirtschaftet, wobei die Alpweiden ertragsmässig 60 000 ha Kunstwiese gleichgesetzt werden.

Basierend auf den Angaben im Landwirtschaftlichen Hilfsbüchlein zum Wirz-Kalender wird die organische Produktion geschätzt auf:

Ackerland: wasserfreie Erntemasse	3,6 t/ha
Wurzeln (20 ‰)	0,7 t/ha
Blattwerk, Stroh (100 ‰)	3,6 t/ha
	<hr/>
	7,9 t/ha
Grünland: wasserfreie Erntemasse	7,2 t/ha
Wurzeln (20 ‰)	1,4 t/ha
	<hr/>
	8,6 t/ha

Für die gesamte Fläche ergibt dies eine jährliche Sauerstoffproduktion von rund 9,3 Millionen t.

Die wesentlich höhere Sauerstoffproduktion pro Flächeneinheit der landwirtschaftlichen Fläche ist vor allem darauf zurückzuführen, dass es sich um von Natur aus fruchtbarere Standorte handelt, die zudem wesentlich intensiver bewirtschaftet (Düngung) und genutzt (Viehfutter) werden.

1.1.3 Nassstandorte

Auch die Algen und Wasserpflanzen sowie Moore, Riede usw. erzeugen bei ihrer photosynthetischen Aktivität Sauerstoff. Im Vergleich zur Sauerstoffproduktion der land- und forstwirtschaftlich genutzten Fläche kann dies jedoch vernachlässigt werden, um so mehr als die nicht genutzte Masse zu ihrer Verrottung den freigesetzten Sauerstoff wieder benötigt, so dass keine Nettoproduktion an Sauerstoff verbleibt.

1.2 Sauerstoffverbrauch

Der Sauerstoffverbrauch zerfällt in eine biologische und eine technische Komponente. Die biologische Komponente umfasst die Zersetzung der organischen Substanz durch Bodenorganismen und dergleichen sowie die Atmung von Mensch und Tier. Die technische Komponente dagegen erfasst den Sauerstoffbedarf des Menschen zur Befriedigung seiner technischen Wünsche (Energiegewinnung, Heizung, Verkehr).

1.2.1 Forstwirtschaft

Von der Voraussetzung ausgehend, dass alle im Wald erzeugte organische Substanz (ausgenommen die Erntemasse an Nutz- und Schichtholz) von

Bakterien und Pilzen unter Sauerstoffaufnahme wieder in die Ausgangsprodukte CO_2 und H_2O zerlegt wird, dass also kein Rohhumus gebildet wird, lässt sich aus Abschnitt 1.1.1 ableiten, dass von den pro Hektare Wald gebildeten 6 t Sauerstoff 3,5 t für diese Zersetzung wieder gebraucht werden. Somit verbleibt eine Netto-Sauerstoffproduktion von 2,5 t/ha Wald oder rund 2,5 Millionen t für das ganze schweizerische Waldareal.

1.2.2 Landwirtschaftlicher Pflanzenbau

Analog zu den in der Forstwirtschaft vorausgesetzten Verhältnissen wird nur derjenige Sauerstoff berechnet, der bei der Produktion der etwa 7 Millionen t Erntemasse (die als menschliche Nahrung oder als Viehfutter dienen) anfällt; etwa 2,3 Millionen t Sauerstoff werden für die Zersetzung der dem Boden überlassenen organischen «Abfallsubstanz» aufgebraucht. Dementsprechend liegt die jährliche Netto-Sauerstoffproduktion des landwirtschaftlich genutzten Areals bei 7 Millionen t.

1.2.3 Landwirtschaftliche Tierhaltung

In Tabelle 1 finden sich der jährliche Sauerstoffbedarf/Tier für verschiedene Tierarten, der auf Grund von Atmungsmessungen des Instituts für Tierernährung ETH-Z berechnet werden konnte, sowie die Ergebnisse der eidgenössischen Viehzählungen verschiedener Jahre (aus Statistisches Jahrbuch der Schweiz).

Tabelle 1

Tierart	Sauerstoff- bedarf kg/Jahr	Tierzahl in Millionen					
		1931	1941	1951	1956	1961	1969
Rindvieh	1850	1,61	1,58	1,61	1,65	1,76	1,75
Pferde	1370	0,14	0,14	0,13	0,12	0,10	0,05
Schweine	435	0,93	0,76	0,89	1,16	1,34	1,66
Schafe / Ziegen	250	0,43	0,41	0,34	0,31	0,32	0,31

Aus den Angaben von Tabelle 1 lässt sich berechnen, dass im Jahre 1969 für die Tierhaltung folgende Sauerstoffmengen benötigt wurden:

Rindvieh	$3,2 \cdot 10^6$ t
Schweine	$0,7 \cdot 10^6$ t
übrige Tiere	$0,1 \cdot 10^6$ t
	$4,0 \cdot 10^6$ t

1.2.4 Menschliche Atmung

Wenn man als Durchschnittswert der Bevölkerung einen Atembedarf von 250 kg Sauerstoff/Kopf rechnet, so ergibt dies pro 1970 für die Einwohner der Schweiz einen Sauerstoffbedarf von 1,6 Millionen t. Dies entspricht gerade der Hälfte des Sauerstoffbedarfs unserer Kuhherden und fällt im Vergleich zum übrigen Sauerstoffkonsum kaum ins Gewicht.

In Tabelle 2 sind die Einwohnerzahlen und die Sauerstoffzehrung durch die menschliche Atmung für den Zeitraum 1930 bis 1970 zusammengestellt.

Tabelle 2

<i>Jahr</i>	<i>Einwohner Millionen</i>	<i>Sauerstoffbedarf Millionen t</i>
1930	4,066	1,0
1941	4,266	1,1
1950	4,715	1,2
1960	5,429	1,4
1970	6,270	1,6

1.2.5 Energiewirtschaft (technischer Sauerstoffbedarf)

Wie bei der mikrobiellen Zersetzung der organischen Substanz wird auch hier vollständige Verbrennung in die Endprodukte CO₂ und H₂O vorausgesetzt. In diesem Falle benötigt die Verbrennung von 1 kg Erdöl, Heizöl, Kohle usw. 3,2 kg Sauerstoff, 1 kg Benzin, Flugpetrol dagegen 3,5 kg Sauerstoff.

2. Schätzung der Sauerstoffbilanz für den Zeitraum 1930 bis 1970

2.1 Sauerstoffproduktion

Die Sauerstoffproduktion durch die Vegetation wird für die ganze Periode als konstant angenommen. Das Waldareal hat sich in dieser Zeitspanne nicht wesentlich verändert, und die Landwirtschaft dürfte die Arealverluste durch grössere Hektarerträge wettgemacht haben. Die Sauerstoffproduktion wird daher geschätzt auf:

	<i>Brutto</i>	<i>Netto</i>
Forstwirtschaft	6 Millionen t	2,5 Millionen t
Landwirtschaft	9,3 Millionen t	7,0 Millionen t
Total	15,3 Millionen t	9,5 Millionen t

2.2 Sauerstoffverbrauch

2.2.1 Biologische Komponente

Analog der Sauerstoffproduktion durch Land- und Forstwirtschaft wird die Sauerstoffzehrung durch Mikroorganismen (Zersetzung der nicht gerteneten Substanz) für den Zeitraum als konstant veranschlagt auf

Forstwirtschaft	3,5 Millionen t
Landwirtschaft	2,3 Millionen t
Total	5,8 Millionen t

Der Sauerstoffbedarf für die menschliche und tierische Atmung in dieser Zeitspanne ist in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3

Jahr ¹	Menschl. Atmung Millionen t	Tierische Atmung Millionen t	Total Millionen t
1930/31	1,0	3,7	4,7
1941	1,1	3,5	4,6
1950/51	1,2	3,6	4,8
1960/61	1,4	4,0	5,4
1969/70	1,6	4,0	5,6

¹ Erste Jahrzahl betrifft Einwohner, zweite Zahl betrifft Tiere

Aus diesen Zahlen geht hervor, dass der biologische Abbau (durch Mikroorganismen) der vom Menschen ungenutzten organischen Substanz in der Schweiz ungefähr gleichviel Sauerstoff zehrt wie die menschliche und tierische Atmung zusammen. Dennoch bleibt diese gesamte biologische Komponente weit hinter der technischen Komponente zurück, ganz besonders seit dem Ende der fünfziger Jahre (vergleiche Tabelle 4 und Abbildung 1).

2.2.2 Technische Komponente des Sauerstoffverbrauchs

In Tabelle 4 ist für die Periode 1937 bis 1969 der Verbrauch an Öl und Kohle bzw. Benzin und Petrol sowie der entsprechende Sauerstoffbedarf zusammengestellt.

Tabelle 4

Jahr	Verbrauch von Öl und Kohle Millionen t	Sauerstoff- bedarf Millionen t	Verbrauch von Benzin und Petrol Millionen t	Sauerstoff- bedarf Millionen t	Sauerstoff- zehrung total Millionen t
1937	3,65	11,6	0,23	0,8	12,4
1947	2,97	9,5	0,28	1,0	10,5
1952	3,47	11,1	0,58	2,0	13,1
1957	5,14	16,4	0,90	3,2	19,6
1962	5,80	18,6	1,35	4,7	23,3
1969	10,21 ¹	32,7	1,90 ²	6,6	39,3

¹ Inklusive Erdöl roh

² Benzin und Mineralöl

In Tabelle 4 und Abbildung 1 wird die gewaltige Steigerung des Sauerstoffverbrauchs seit Ende des letzten Weltkrieges zur Erzeugung von Energie besonders augenfällig. Es zeichnet sich in dieser Periode jeweils ungefähr eine Verdoppelung in 10 Jahren ab, wobei auf den Verkehr (Benzin/Petrol) eine speziell starke Zunahme entfällt.

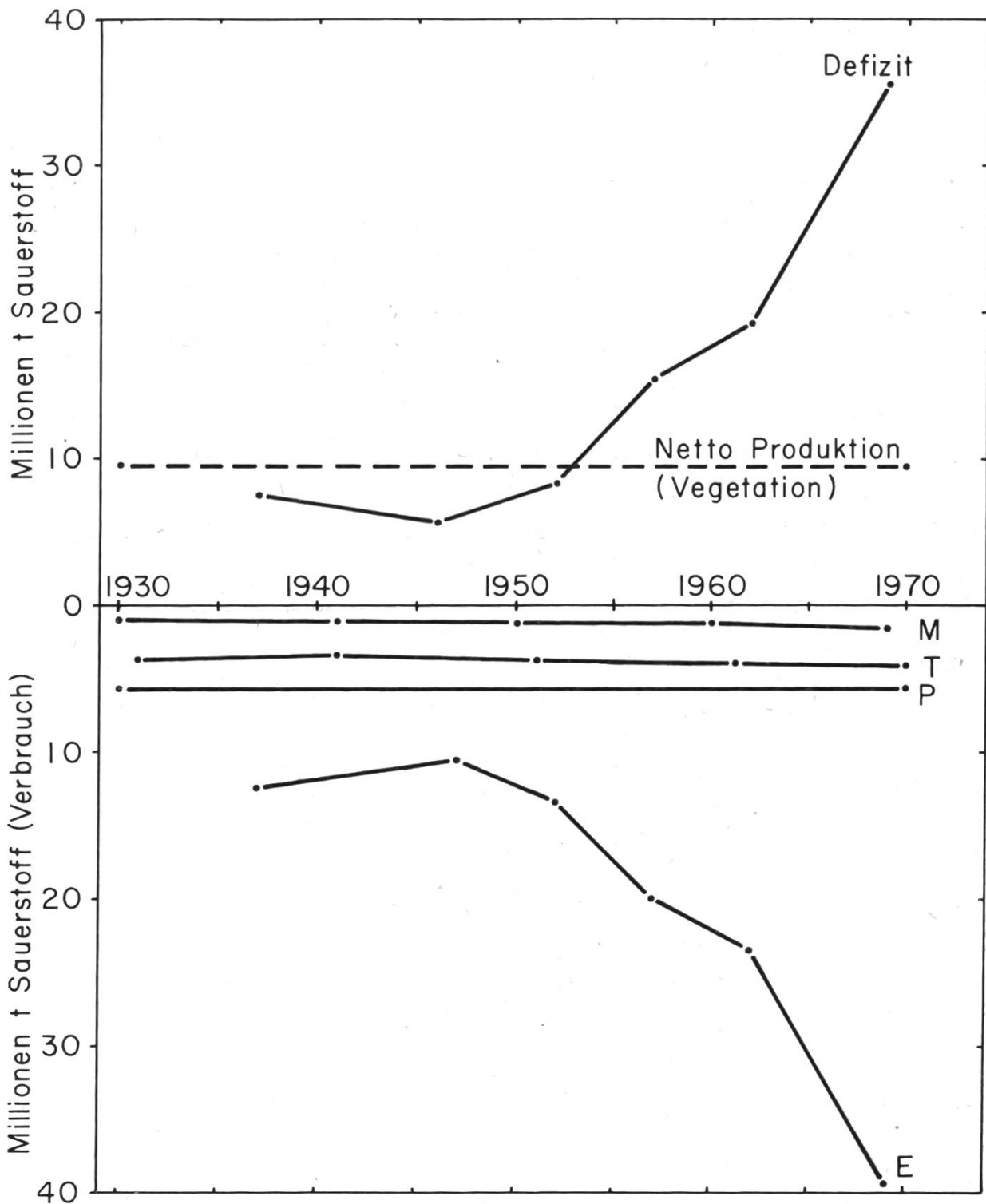


Abbildung 1. Schweiz. Sauerstoffbilanz 1930 bis 1970 (Mio t).

Oben: Nettoproduktion durch Vegetation und jährliches Gesamtdefizit.

Unten: Sauerstoffverbrauch durch Energieerzeugung (E) sowie Atmung von Bodenorganismen (Humifizierung bzw. Abbau der organischen Substanz, P), Atmung von Tier (T) und Mensch (M).

2.3 Sauerstoffbilanz

Aus den bereits gegebenen Daten geht hervor, dass die Schweiz ein gewaltiges Sauerstoffdefizit aufweist (vergleiche Abbildung 1). Ohne die

mikrobiologische Veratmung ungenutzter organischer Produkte betrug 1969 der Sauerstoffbedarf rund 45 Millionen t, denen eine Sauerstoff-Nettoproduktion der Vegetation von 9,5 Millionen t gegenüberstand. Abbildung 1 ist zu entnehmen, dass der Sauerstoffhaushalt der Schweiz schon vor dem letzten Weltkrieg defizitär war, dass das jährliche Defizit aber besonders seit Kriegsende gewaltig zunahm.

1969 betrug das jährliche Sauerstoffdefizit der Schweiz etwa 35 Millionen t oder rund $0,9 \text{ kg/m}^2$. Wie einige andere Industriestaaten mit hochentwickeltem Lebensstandard zehrt somit die Schweiz vom Sauerstoffkapital der Atmosphäre. Die Windströmungen sorgen allerdings für einen globalen Ausgleich, so dass es nicht zu einem lokalen Sauerstoffmangel kommen kann. Vorderhand ist auch noch kein Absinken des Sauerstoffgehaltes der Atmosphäre festgestellt worden. Angesichts des atmosphärischen Sauerstoffvorrates von rund 2000 kg/m^2 Erdoberfläche mag das jährliche schweizerische Defizit von $0,9 \text{ kg/m}^2$ gering erscheinen. Die stetige Steigerung des Defizits ist jedoch zu berücksichtigen ebenso wie die weltweite Tendenz der weiteren Steigerung des Lebensstandardes, welche bisher stets mit einer Zunahme des Sauerstoffverbrauchs gekoppelt war. Die technische Entwicklung wird diesem Umstand Rechnung tragen müssen, auch wenn die gegenwärtige Situation in dieser Hinsicht noch nicht alarmierend erscheint. Denn es ist anzunehmen, dass die Verschmutzung der Atmosphäre mit Abgasen und Stäuben aller Art rascher zu einer lufthygienisch bedenklichen Lage führen wird als die Sauerstoffverknappung.

Da jedoch Luftverschmutzung und Sauerstoffverbrauch Hand in Hand gehen, kann man sich füglich fragen, ob es nicht Zeit wäre, den Sauerstoffverbrauch fiskalisch zu belasten. Wer für Heizzwecke, Verkehr usw. mehr Sauerstoff braucht, müsste mehr bezahlen. Diese dem Bund zufließende Geldquelle wäre zu verwenden für die Lösung von Umweltproblemen (unter anderem lufthygienischer Art), für Landesplanung, Erhaltung von Grünflächen (Brachlandproblem!) usw.

Résumé

Bilan de l'oxygène de la Suisse

La présente étude essaie de dresser un bilan de l'oxygène de notre pays. Dans un premier chapitre sont exposés les éléments de base qui permirent cette évaluation. La photosynthèse par les plantes est seule prise en considération pour la production d'oxygène (formule de l'assimilation), celle par décomposition de vapeur d'eau dans la couche supérieure de l'atmosphère n'étant pas encore connue quant à son volume.

L'oxygène consommé dans notre pays l'est, pour la plus grande part (1969: env. 40 millions de tonnes) pour les besoins de la technique lors de la production d'énergie (chauffage, transport, etc.). La consommation d'oxygène pour la respiration de l'homme et de l'animal, de même que pour la décomposition microbienne des substances organiques non employées par les hommes est par contre relativement modeste (fig. 1).

La production nette d'oxygène par la végétation (forêt 2,5 millions de tonnes, agriculture 7 millions de tonnes) n'arrivait en 1969 qu'à couvrir le 20 % des besoins en oxygène de la Suisse. Le bilan était en fait déjà déficitaire avant la dernière guerre mondiale; ce déficit s'est accentué rapidement après la guerre et, depuis lors, double environ tous les 10 ans.

Même si en regard de la réserve atmosphérique (2000 kg/m²) le déficit suisse de 0,9 kg/m² par année peut paraître modeste, le développement technique devra dorénavant tenir compte du fait que le déficit croît de manière exponentielle et que la tendance universelle d'amélioration du standing de vie est liée à une augmentation de la consommation d'oxygène.

La question est soulevée de savoir si le moment n'est pas venu de fiscaliser la consommation d'oxygène, et d'investir cette recette dans la protection de l'environnement, l'aménagement du territoire, la conservation des zones vertes, etc.

Traduction: M. N. Frei-Pont

Literaturverzeichnis

- Burger, H., 1950: Holz, Blattmenge und Zuwachs. X. Die Buche. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.-wesen 26 (2), 419—468
- Burger, H., 1953: Holz, Blattmenge und Zuwachs. XIII. Fichten im gleichaltrigen Hochwald. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.-wesen 29 (1), 38—130
- Flury, Ph., 1907: Ertragstafeln für die Fichte und Buche der Schweiz. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.-wesen 9, 3—290
- Köstler, J. N., Brückner, E., Bibelriether, H., 1968: Die Wurzeln der Waldbäume. Parey-Verlag, Hamburg und Berlin, 284 pp.
- Landwirtschaftliches Handbüchlein zum Wirz-Kalender, 1967. Wirz & Co., Aarau, 194 pp.
- Ott, E., 1972: Erhebungen über den gegenwärtigen Zustand des Schweizer Waldes als Grundlage waldbaulicher Zielsetzungen. Mitt. Schweiz. Anst. forstl. Vers.-wesen 48 (1), 3—193
- Statistisches Jahrbuch der Schweiz: Herausgegeben vom Eidg. Statistischen Amt, Bern, Jahre 1931 bis 1972